

502,278

10/502278

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
31. Juli 2003 (31.07.2003)

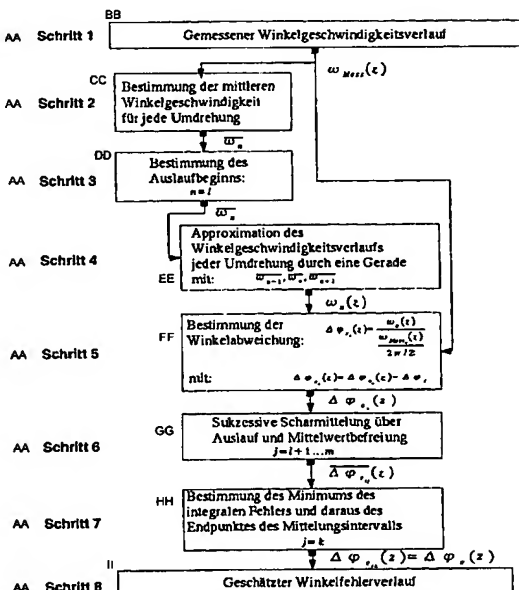
PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/062620 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: F02D 41/34 (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **FRAUNHOFER GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Leonrodstrasse 68, 80636 München (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP03/00367
- (22) Internationales Anmeldedatum: 15. Januar 2003 (15.01.2003) (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **FEHRENBACH, Hermann** [DE/DE]; Hubenweg 13, 76761 Rülzheim (DE). **HOHMANN, Carsten** [DE/DE]; Füllinstraße 6, 76131 Karlsruhe (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 102 02 688.2 24. Januar 2002 (24.01.2002) DE (74) Anwalt: **RÖSLER, Uwe**; Landsberger Strasse 480a, 81241 München (DE). 102 17 560.8 19. April 2002 (19.04.2002) DE (81) Bestimmungsstaat (national): US.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR DETERMINING AND COMPENSATING THE GEOMETRIC ERRORS OF A ROTARY ENCODER

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG UND KOMPENSTION VON GEOMETRIEFehlERN EINES DREH-
GEBERRADES

AA... STEP
BB... MEASURED ANGULAR SPEED PROFILE
CC... DETERMINATION OF MEAN ANGULAR SPEED FOR EACH ROTATION
DD... DETERMINATION OF START OF RUN-DOWN PERIOD
EE... APPROXIMATION OF ANGULAR SPEED PROFILE OF EACH ROTATION THROUGH A STRAIGHT LINE WITH:
FF... DETERMINATION OF ANGULAR DEVIATION:
WITH:
GG... SUCCESSIVE LINEAR AVERAGING THROUGHOUT RUN-DOWN AND MEAN VALUE LIBERATION
HH... DETERMINATION OF MINIMUM OF INTEGRAL ERROR AND END POINT OF AVERAGING INTERVAL FROM LATTER
II... ESTIMATED ANGULAR ERROR PROFILE

(57) Abstract: The invention relates to a method for determining geometric errors of a rotary encoder with a plurality of increments that can be registered by a sensor, said encoder being used in an internal combustion engine and being mounted on a shaft that can be directly or indirectly set in motion by moments of inertia or engine gas. The invention is characterised in that the profile of the angular speed $\omega_{mess}(t)$ is measured for the shaft speed that changes over time, that the shaft speed signals obtained during said measurement are averaged and that said averaging process is carried out within a shaft speed range. In said range, the effects of the moments of inertia or engine gas, which act on the shaft in the internal combustion engine, on the angular speed of the crankshaft cancel each other out statistically, at least to a great extent, whereby geometric errors of the rotary encoder are determined based on the profile of the angular speed $\omega_{mess}(t)$.

(57) Zusammenfassung: Beschrieben wird ein Verfahren zum Bestimmen von Geometriefehlern eines an einem Verbrennungsmotor applizierten Drehgeberrades mit einer Vielzahl von sensoriel erfassbaren Infrementen, das an einer unmittelbar oder mittelbar durch Gas- und Massenmomente des Verbrennungsmotors in Rotation versetzbaren Welle angebracht ist. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass bei einer zeitlich veränderlichen Wellendrehzahl eine Messung des Winkelgeschwindigkeitsverlaufes $\omega_{mess}(t)$ der Welle, sowie eine Mittelung über die bei der Messung gewonnenen Wellendrehzalsignale durchgeführt wird, dass die Mittelung innerhalb eines Wellendrehzahlbereiches durchgeführt wird, in dem sich die Auswirkungen der im Verbrennungsmotor auf die Welle einwirkenden Gas- und Massenmomente auf die Kurbelwellen winkelgeschwindigkeit gegenseitig zumindest weitgehend statistisch aufheben und dass auf der Grundlage des Winkelgeschwindigkeitsverlaufes $\omega_{mess}(t)$ Geometriefehler des Drehgeberrades ermittelt werden.

WO 03/062620 A1



(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht*

Verfahren zur Bestimmung und Kompensation von Geometriefehlern eines Drehgeberrades

Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Bestimmen von Geometriefehlern eines an einem Verbrennungsmotor applizierten Drehgeberrades mit einer Vielzahl von sensoruell erfassbaren Inkrementen, das an einer unmittelbar oder mittelbar durch die Gas- und Massenmomente des Verbrennungsmotors in Rotation versetzbaren Welle angebracht ist.

Stand der Technik

An moderne Verbrennungsmotoren, wie sie vornehmlich im Kfz-Bereich eingesetzt werden, aber auch in anderen technischen Bereichen Verwendung finden, bspw. zur Stromerzeugung, werden zunehmend höhere Anforderungen in Bezug auf Komfort

und Zuverlässigkeit gestellt. Aber auch aufgrund stetig strenger werdender Abgasnormen gilt es, das Betriebsverhalten derartiger Motoren möglichst genau zu überwachen, wobei in diesem Zusammenhang eine möglichst genaue Kenntnis über die aktuelle Drehzahl bzw. aktuelle Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle von zentraler Bedeutung ist. Zum Zwecke der Erfassung der Kurbelwellenwinkelgeschwindigkeit wird in an sich bekannter Weise an der Kurbelwelle oder an der mit der Kurbelwelle in Wirkverbindung stehenden Nockenwelle des Verbrennungsmotors ein Drehgeberrad bzw. Inkrementgeber angebracht, dessen Rotationsgeschwindigkeit von einem berührungsfrei arbeitenden Aufnahmesystem erfasst wird. Das Erfassen der auf dem Drehgeberrad vorhandenen Markierungen bzw. Inkremente erfolgt typischerweise optisch oder induktiv.

Typischerweise zeichnen sich Drehgeberräder durch eine längs ihres Umfangsrandes vorhandene Zahnteilung aus, die eine Vielzahl vorzugsweise gleich voneinander beabstandeter Zähne, die sog. Inkremente, vorsieht. Bei Rotation derartiger Drehgeberräder wird im Aufnahmesystem eine in Abhängigkeit von der Winkelgeschwindigkeit des Drehgeberrades stehende zeitliche Abfolge von Messimpulsen erzeugt, anhand derer Maße für die aktuelle Winkelgeschwindigkeit der mit dem Drehgeberrad verbundenen Welle gewonnen werden können.

Jedoch weisen Drehgeberräder unvermeidbare Fehler auf, die auf fertigungstechnische Fehler, wie bspw. ungleiche Zahn- bzw. Inkrementteilung, oder montagebedingte Fehler, wie bspw. unzentrische Lagerung des Drehgeberrades auf der zu vermessenden Welle, zurückzuführen sind.

Derartige Fehler führen zu nicht tolerablen Abweichungen bei der hochgenauen Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle, so dass es gilt, den Fehlereinfluss auf ein Minimum zu reduzieren oder vollständig zu beseitigen.

Im Bestreben, derartige Fehler zu reduzieren sowie zu kompensieren, sind einige, jedoch nur unbefriedigende Lösungsansätze bekannt.

Aus der DE 196 22 448 A1 geht ein Drehzahlerfassungsverfahren zur Zündaussetzererkennung hervor, bei dem das Drehzahlverhalten der Kurbelwelle in vorbestimmten Winkelbereichen erfasst und als Maß für eine Laufunruhe definiert wird. Es werden Korrekturwerte durch Vergleich der ermittelten Laufunruhe mit einem vorbestimmten Referenzwert ermittelt, die für die weitere Drehzahlerfassung und deren Korrektur zugrunde gelegt werden. Hierbei erfolgt lediglich eine segmentweise, zylinderspezifische Korrektur des Drehzahlsignals.

In ähnlicher Weise erfolgt beim Verfahren zur Korrektur von Toleranzen eines Geberrades gemäß der DE 197 33 958 A1 ein Vergleich einzelner Messwerte mit einem Referenzwert zur Ermittlung geeigneter Korrekturwerte, die der genauen Bestimmung der Wellendrehzahl zugrunde gelegt werden. Auch in diesem Fall wird lediglich eine segmentweise Korrektur des Drehzahlsignals mit geringer Winkelauflösung durchgeführt.

In den beiden vorstehend genannten Fällen sind genaue Kenntnisse über die jeweiligen Verbrennungsmotoren erforderlich, um die für die Korrekturwertbestimmung notwendigen Referenzwerte zu ermitteln.

Aus der DE 42 10 933 A1 ist ebenfalls ein Verfahren zur Auswertung der Ausgangssignale eines Drehzahlsensors zu entnehmen, bei dem zur Drehzahlbestimmung einer Welle jeweils mehrere Zählkremente eines an der Welle sitzenden Drehgeberrades zusammengefasst werden, so dass die Winkelauflösung, mit der die Winkelgeschwindigkeit des Drehgeberrades erfasst wird, letztlich mit zunehmender Größe des sektoriellen Bereiches des Drehgeberrades, in dem die zur Messung zusammengefassten Zählkremente vorhanden sind, abnimmt. Darüber hinaus bedarf es auch bei diesem Verfahren Motor- bzw. Drehgeberrad-individuelle Schwellwertvorgaben, die eine möglichst genaue Vorabkenntnis des Systems voraussetzen.

Darstellung der Erfindung

Es besteht die Aufgabe, ein Verfahren zur Bestimmung von Geometriefehlern eines Drehgeberrades mit einer Vielzahl sensoruell erfassbarer Inkremente für einen Verbrennungsmotor derart anzugeben, dass mit möglichst einfachen Korrekturmitteln eine höchst exakte Fehlerbestimmung möglich sein soll. Insbesondere soll das Verfahren die Bestimmung der Geometriefehler inkrementaufgelöst ermöglichen, ohne dabei eine Vorabinformation über den Verbrennungsmotor oder das Drehgeberrad voraussetzen zu müssen.

Die Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Den Erfindungsgedanken vorteilhaft weiterbildende Merkmale sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der Beschreibung im Einzelnen zu entnehmen.

Erfindungsgemäß ist das Verfahren zur Bestimmung von Geometriefehlern eines Drehgeberrades mit einer Vielzahl von sensoruell erfassbaren Inkrementen für einen Verbrennungsmotor, das an einer unmittelbar oder mittelbar durch Gas- und Massenmomente des Verbrennungsmotors in Rotation versetzbaren Welle angebracht ist, dadurch ausgezeichnet, dass bei einer zeitlich veränderlichen Wellendrehzahl eine Messung des Winkelgeschwindigkeitsverlaufes der Welle sowie eine Mittelung über die bei der Messung gewonnenen arbeitsspielsynchronen Wellendrehzahlssignale durchgeführt wird.

Bei der Mittelung ist darauf zu achten, dass sie innerhalb eines Wellendrehzahlbereiches durchgeführt wird, in dem sich die im Verbrennungsmotor auf die Welle einwirkenden Gas- und Massenmomente gegenseitig zumindest weitgehend statistisch aufheben.

Das erfindungsgemäße Verfahren nutzt in vorteilhafter Weise die Gegenphasigkeit der Gas- und Massenmomente und deren Einfluss auf die Drehzahl der Kurbelwelle, um die Geometriefehler des Drehgeberrades bestimmen und kompensieren zu können.

In einer bevorzugten Verfahrensvariante wird das zeitliche Verhalten der Wellendrehzahl bzw. der Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle oder der mit der Kurbelwelle kinematisch verbundenen Nockenwelle eines Verbrennungsmotors mit Hilfe eines Drehgeberrades und eines entsprechenden Aufnahmesystems während eines sog. Auslaufversuches betrachtet, d. h. der Verbrennungsmotor wird nach Erreichen einer hohen Drehzahl, bspw. seiner Höchstdrehzahl, abrupt abgestellt bzw. wird die Brennstoffzufuhr abrupt unterbunden. Aufgrund motorinterner Reibmomente reduziert sich die Drehzahl stetig, bis der Verbrennungsmotor zum Stillstand kommt.

Eingedenk der Tatsache, dass bei einem Verbrennungsmotor, der bei hohen Drehzahlen betrieben wird, die Auswirkungen der von den oszillierenden Komponenten herrührenden Massenmomente auf die Kurbelwelle gegenüber jenen der Gasmomente, d. h. der durch die Kompression und Expansion des Brennstoff-Luftgemisches (bzw. der Luft im Schubbetrieb) herrührenden Momente, dominieren und in umgekehrter Weise bei niedrigen Drehzahlen die Einflüsse der Gasmomente gegenüber denen der Massenmomente auf die Kurbelwelle dominieren, durchläuft der Verbrennungsmotor während des Auslaufversuches einen Drehzahlbereich, in dem sich die Auswirkungen der Massen- und Gasmomente gegenseitig kompensieren.

Eben jener Drehzahlbereich wird zur Bestimmung der Geometriefehler eines Drehgeberrades herangezogen, der sich jedoch alternativ zu dem vorstehend genannten Auslaufversuch auch im Zuge sog. Schlepp- oder Drückungsversuche ergibt, bei denen sich in gleicher Weise Massen- und Gasmomente in ihren Auswirkungen auf die Kurbelwelle bzw. Kurbelwellendrehzahl zumindest weitgehend statistisch aufheben. Handelt es sich bei dem jeweiligen Verbrennungsmotor um einen ungeradzahlig-zylindrigen Verbrennungsmotor, so ist aufgrund der Symmetrieverhältnisse bei derartigen Motoren die Forderung nach weitgehender statistischer Gleichverteilung der Auswirkungen der Gas- und Massenmomente auf die Kurbelwellenwinkelgeschwindigkeit nicht zwingend erforderlich, da das

Drehzahlsignal zweier aufeinanderfolgender Umdrehungen eines Arbeitsspiels bei solchen Motoren von vornherein als gegenphasig bezeichnet werden kann. Deshalb ist in diesem Fall jede beliebige Messung als Basis für die Geberradadaption geeignet.

Im Einzelnen lässt sich die Geometriefehlerbestimmung eines Drehgeberrades in der nachstehenden Weise unter Bezugnahme auf die Figuren ohne Einschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens angeben. Es zeigen:

- Fig. 1 schematisierte Darstellung eines hälftig dargestellten
Drehgeberrades sowie
- Fig. 2 schematisierter Ablaufplan der Geometriefehlerbestimmung.

Ausgehend von einem Drehgeberrad D, das in Figur 1 schematisch in hälftiger Darstellung gezeigt ist und dessen Umfangsrand U eine Vielzahl einzelner, vorzugsweise voneinander gleich beabstandet angeordneter Zähne Z aufweist, werden folgende Bezeichnungen, auf die im Weiteren Bezug genommen wird, eingeführt. Es sei angenommen, dass sich ein für die Winkelinkrementmessung relevantes Bogenmaß $\Delta\varphi_r(z)$, auch als Winkelinkrement des realen Drehgeberrades bezeichnet, aus einem Anteil $\Delta\varphi_i$, der der Teilung eines als ideal angenommenen Drehgeberrades entspricht, und einem vom jeweiligen Winkelinkrement abhängigen Fehler $\Delta\varphi_e(z)$ zusammensetzt. In diesem Zusammenhang wird davon ausgegangen, dass das sensoruell erfassbare Winkelinkrement dem Mittenabstand zweier längs des Umfangsrandes U des Drehgeberrades D benachbart angeordneter Zähne Z entspricht. Somit gilt für das real erfassbare Winkelinkrement:

$$\Delta\varphi_r(z) = \Delta\varphi_i(z) + \Delta\varphi_e(z).$$

Zur Bestimmung des von jedem Zahn bzw. Inkrement abhängigen inkrementellen Fehlers $\Delta\varphi_e(z)$ bedarf es daher der Ermittlung von $\Delta\varphi_r(z)$, sofern man unterstellt, dass der Wert für die ideale inkrementelle Teilung $\Delta\varphi_i$ als bekannt vorausgesetzt werden kann.

Ausgehend von vorstehenden Überlegungen sind zur Geometriefehlerbestimmung folgende einzelnen Verfahrensschritte durchzuführen, deren schematisierte Abfolge aus Figur 2 zu entnehmen ist. Zunächst gilt es, die Winkelgeschwindigkeit mit Hilfe des inkrementellen Drehgeberrades nebst Aufnehmer zu messen (Schritt 1). Durch die Messung wird ein zeitabhängiges Winkelgeschwindigkeitssignal $\omega_{\text{Mess}}(t)$ erhalten, auf dessen Basis eine mittlere Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_n$ pro Wellenumdrehung n zumindest näherungsweise berechnet wird (Schritt 2). Zur Bestimmung von $\bar{\omega}_n$ wird die erfasste Zeitdauer Δt_n zugrundegelegt, die das Drehgeberrad für eine vollständige Umdrehung benötigt. Somit ergibt sich für $\bar{\omega}_n$:

$$\bar{\omega}_n = \frac{360^\circ}{\Delta t_n}.$$

Unter Zugrundelegung vorstehender Beziehung wird für jede Umdrehung n eines in Betracht kommenden Drehzahlbereiches die entsprechende mittlere Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_n$ berechnet. Für den vorstehend beschriebenen Fall der Durchführung eines Auslaufversuches mit einem Verbrennungsmotor bedeutet dies die Berechnung der mittleren Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_n$ für jede Umdrehung n des Verbrennungsmotors, beginnend mit der Höchstdrehzahl und endend mit dem Stillstand des Verbrennungsmotors (Schritt 3). Mit den damit ermittelten mittleren Winkelgeschwindigkeiten $\bar{\omega}_n$ pro Umdrehung n wird ein mittlerer Winkelgeschwindigkeitsverlauf gebildet, der als Streckenzug angenähert wird, dessen Steigung bei der Umdrehung n sich aus der mittleren Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_{n-1}$ der vorherigen Umdrehung und der Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_{n+1}$ der folgenden Umdrehung ergibt (Schritt 4).

Der mit Hilfe der vorstehenden Geradenapproximation erhaltene mittlere Winkelgeschwindigkeitsverlauf kann überdies in vorteilhafter Weise mittels geeigneter Polynome angeglichen werden, wodurch die Genauigkeit für eine Abschätzung des tatsächlichen mittleren Drehzahlverlaufes verbessert werden kann. Auf diese Weise wird der Winkelgeschwindigkeitsverlauf $\omega_n(z)$ pro Umdrehung n für jeden einzelnen Zahn Z bzw. jedes Inkrement als Solldrehzahlverlauf erhalten, indem

die Inkrement (z) bezogene Winkelgeschwindigkeit $\omega_n(z)$ als Funktionswert der durch das Polynom beschriebenen Funktion unmittelbar entnommen wird.

Auf Basis des Winkelgeschwindigkeitsverlaufes $\omega_n(z)$ wird im Weiteren für jede Umdrehung n das reale Winkelinkrement $\Delta\varphi_{r_n}(z)$ für jeden einzelnen Zahn in folgender Weise berechnet (Schritt 5):

$$\Delta\varphi_{r_n}(z) = \frac{\omega_n(z)}{f_{\text{Zahn}_n}(z)} = \frac{\omega_n(z)}{\frac{\omega_{\text{mess}_n}(z)}{2\pi / z}}$$

Unter Zugrundelegung der messtechnisch pro Umdrehung erfassten Zahn- bzw. Inkrementfrequenz f_{Zahn_n} (liegt als Messwert für jedes Drehgeberradinkrement bzw. jeden Zahn pro Umdrehung vor), die ins Verhältnis mit der berechneten Solldrehzahl $\omega_n(z)$ gesetzt wird, wird das fehlerbehaftete, pro Umdrehung ermittelbare Winkelinkrement $\Delta\varphi_{r_n}$ erhalten, von dem zur Berechnung des tatsächlichen geometrischen Winkelfehlers $\Delta\varphi_e(z)$ letztlich der Anteil der idealen Inkrementteilung $\Delta\varphi_i(z)$ subtrahiert werden muss: $\Delta\varphi_e(z) = \Delta\varphi_{r_n}(z) - \Delta\varphi_i(z)$.

Da die vorstehend beschriebene Berechnung des Winkelfehlerverlaufes $\Delta\varphi_e(z)$ auf der Basis der Berechnung des mittleren Winkelgeschwindigkeitsverlaufes $\omega_n(z)$ beruht, werden jedoch die durch die zyklische Arbeitsweise des Verbrennungsmotors bedingten Drehzahlschwankungen, die letztlich durch das Wechselspiel der auf die Kurbelwelle einwirkenden Massen- und Gasmomente herrühren, zunächst ebenfalls als Winkelfehler mit interpretiert. Die auf den Massen- und Gasmomenten beruhenden Drehzahlschwankungen fließen aufgrund der vorstehenden Mittelung zur Berechnung des Winkelgeschwindigkeitsverlaufes $\omega_n(z)$ fehlerbehafteterweise in die vorstehenden Überlegung zur Ermittlung des Geometriefehlers $\Delta\varphi_e(z)$ ein. Um diesen Einfluss zu beseitigen bzw. weitgehend zu eliminieren wird eine Mittelung, vorzugsweise eine Scharmittelung über die geschätzten Winkelfehlerverläufe $\Delta\varphi_e(z)$

pro Umdrehung für einen bestimmten Drehzahlbereich des Auslaufversuches durchgeführt, bei dem sich die auf die Gas- und Massenmomente zurück gehenden Signalanteile gegenseitig kompensieren. Für eine derartige Scharmittlung ergibt sich folgender Formelzusammenhang (Schritt 6):

$$\Delta\varphi_{e_n}(z) = \frac{1}{k-l} \sum_{n=l}^k \left[\frac{\omega_n(z)}{f(z)} - \Delta\varphi_i(z) \right]$$

mit	$\Delta\varphi_{e_n}(z)$	inkrementeller Winkelfehler pro Umdrehung
	$\omega_n(z)$	inkrementelle Winkelgeschwindigkeit pro Umdrehung
	$f(z)$	Inkrementfrequenz
	$\Delta\varphi_i(z)$	Winkelinkrement für ideales Inkrement
	k, l	Umdrehungsindizes bei unterer und oberer Drehzahlgrenze

Die für die Scharmittlung relevanten unteren und oberen Drehzahlgrenzen (Umdrehungsindizes k und l) werden derart gewählt, dass sich die Auswirkungen der Massen- und Gasmomente auf die Kurbelwelle, durch die die vorstehend genannten Drehzahlschwankungen hervorgerufen werden, innerhalb des betrachteten Drehzahlbereiches zueinander gegenphasig verhalten, so dass sich der hieraus sich ergebende Signalanteil gerade näherungsweise herausmittelt.

Zum Auffinden der optimalen Mittelungsgrenzen k, l sind zwei unterschiedliche Methoden anwendbar (Schritt 7):

1. Bei der Durchführung eines Auslaufversuches wird zunächst jene Sprungdrehzahl aufgesucht, bei der ein Phasensprung im Wellendrehzahlsignal

bedingt durch einen Wechsel der Dominanz zwischen Gas- und Massenmomenten auftritt. Der nun festzulegende Drehzahlbereich, innerhalb dem die Scharmittelung durchgeführt wird, ergibt sich durch eine geeignete symmetrische oder asymmetrische Festlegung bestimmter Anzahlen von Umdrehungen vor und nach der Sprungdrehzahl derart, dass ein im Drehzahlsignal enthaltener Wechselanteil nach der Mittelung möglichst klein wird. Idealerweise könnten symmetrische Drehzahlgrenzen um die aufgefundene Sprungdrehzahl gewählt werden, jedoch ist aufgrund der unterschiedlichen Amplituden des Wechselanteils des Drehzahlsignals in Abhängigkeit der jeweiligen Umdrehung n eine individuelle Grenzenwahl zumeist erforderlich.

2. Eine andere Möglichkeit der Drehzahlgrenzenwahl besteht darin, zunächst den inkrementellen Winkelfehler $\Delta\varphi_{\epsilon}(z)$ ausgehend von einem bestimmten Startpunkt l als Funktion des Endpunktes k zu ermitteln. Nun gilt es, eben jenen Drehzahlbereich auszuwählen, in dem der Winkelfehler am kleinsten ist. Wird der Winkelfehlerverlauf bspw. relativ zu einer Nulllinie aufgetragen, so sind die geeigneten Intervallgrenzen gerade um jenen Bereich zu wählen, in dem die vom Winkelfehlerverlauf mit der Nulllinie eingeschlossene Fläche am kleinsten ist. Bei falsch gewähltem Intervall sind im geschätzten Winkelfehler noch sichtbare Signalanteile der Gas- und Massenmomente vorhanden. Diese Signalanteile führen jedoch zu einer Vergrößerung der Fläche. Die aus der graphischen Überlegung basierende Intervallgrenzenbestimmung ist sowohl für eine manuelle als auch für eine rechnergestützte automatische Durchführung geeignet.

Bei einer automatischen Intervallgrenzenbestimmung wird zunächst eine "Startdrehzahl", sinnvollerweise der Beginn des Auslaufversuches bei der Höchstdrehzahl, bestimmt. Die Scharmittelung wird anschließend ausgehend von dieser "Startdrehzahl" schritt haltend mit jeder Umdrehung durchgeführt. Auf diese Weise ergibt sich für jede Umdrehung n eine Schar gemittelter geschätzter Winkelfehlerverläufe. Am Ende des Auslaufversuches wird ein geeigneter Winkelfehlerverlauf gewählt, der die kleinste Fläche mit der vorstehend

beschriebenen Nulllinie einschließt. Die gleiche Prozedur kann mehrmals wiederholt werden, um die "Startdrehzahl" sowie "Enddrehzahl" zu optimieren.

Durch die vorstehend erläuterte Scharmittelung können jegliche die Fehlerberechnung verfälschende Nutzsignalanteile, die systembedingt einen Wechselanteil im Winkelgeschwindigkeitsverlauf verursachen, wenn nicht vollständig beseitigt, so doch weitgehend reduziert werden. Als Ergebnis erhält man eine hochpräzise Fehlerangabe für jedes einzelne Inkrement des Drehgeberrades pro Umdrehung. Mögliche, die Fehlerbestimmung verfälschende Einflüsse von Seiten des Messaufnehmers können, falls vorhanden, kompensiert werden und entsprechende Berücksichtigung finden.

Der mit dem vorstehenden Verfahren ermittelte Geometriefehler eines Drehgeberrades dient in vorteilhafter Weise zur Korrektur bzw. Kompensation bei der Drehzahlbestimmung von Verbrennungsmotoren unter Verwendung inkrementieller Drehgeberräder. Somit ergibt sich der kompensierte Winkelgeschwindigkeitsverlauf ω_{comp} der mit einem Drehgeberrad erfassten Rotation einer Kurbelwelle eines Verbrennungsmotors in folgender Weise (Schritt 8):

$$\omega_{comp} = \frac{\Delta\varphi_r(z)}{f_{Zahn}(z)}$$

Alternativ zu dem vorstehend erläuterten Auslaufversuch, bei dem ein Verbrennungsmotor nach Erreichen einer Höchstdrehzahl abgeschaltet und das Drehzahlverhalten bis zum Stillstand vermessen wird, können auch beliebig andere Messbedingungen, bei denen eine ausreichend große Variation in der Phasenbeziehung zwischen Massen- und Gasmomenten auftritt, als Basis für die Geometriefehlerbestimmung dienen. An dieser Stelle seien Schlepp- und Drückungsversuche sowie die Leerlaufmessung bei hoher Drehzahl genannt. Jedoch stellen gerade die Auslaufversuche wegen der fehlenden Verbrennung und der einfachen Durchführbarkeit einen idealen Messmodus dar.

Handelt es sich jedoch bei den zu untersuchenden Verbrennungsmotoren um Motoren mit ungerader Zylinderanzahl, so ist aufgrund der Symmetrieverhältnisse jede beliebige Messung als Basis für die Geberradadaption geeignet, da bei derartigen Motoren das Drehzahlsignal bezüglich zweier aufeinander folgender Umdrehungen eines Arbeitsspiels als gegenphasig bezeichnet werden kann.

Bezugszeichenliste

- D Drehgeberrad
- Z Zahn, Inkrement
- U Umfangsrand

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen von Geometriefehlern eines Drehgeberrades mit einer Vielzahl von sensoriell erfassbaren Inkrementen für einen Verbrennungsmotor, das an einer unmittelbar oder mittelbar durch Gas- und Massenmomente des Verbrennungsmotors in Rotation versetzbaren Welle angebracht ist, dadurch **gekennzeichnet**, dass bei einer zeitlich veränderlichen Wellendrehzahl eine Messung des Winkelgeschwindigkeitsverlaufes $\omega_{mess}(t)$ der Welle sowie eine Mittelung über die bei der Messung gewonnenen Wellendrehzahlsignale durchgeführt wird, dass die Mittelung innerhalb eines Wellendrehzahlbereiches durchgeführt wird, in dem sich die Auswirkungen der im Verbrennungsmotor auf die Welle einwirkenden Gas- und Massenmomente auf die Kurbelwellenwinkelgeschwindigkeit gegenseitig zumindest weitgehend statistisch aufheben, und dass auf der Grundlage des Winkelgeschwindigkeitsverlaufes $\omega_{mess}(t)$ Geometriefehler des Drehgeberrades ermittelt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß ausgehend von dem gemessenen Winkelgeschwindigkeitsverlauf $\omega_{mess}(t)$ eine mittlere Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_n$ pro Wellenumdrehung (n) zumindest näherungsweise berechnet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch **gekennzeichnet**, daß aus der mittleren Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_n$ eine Inkrement (z) bezogene Winkelgeschwindigkeit $\omega_n(z)$ zumindest näherungsweise berechnet wird.

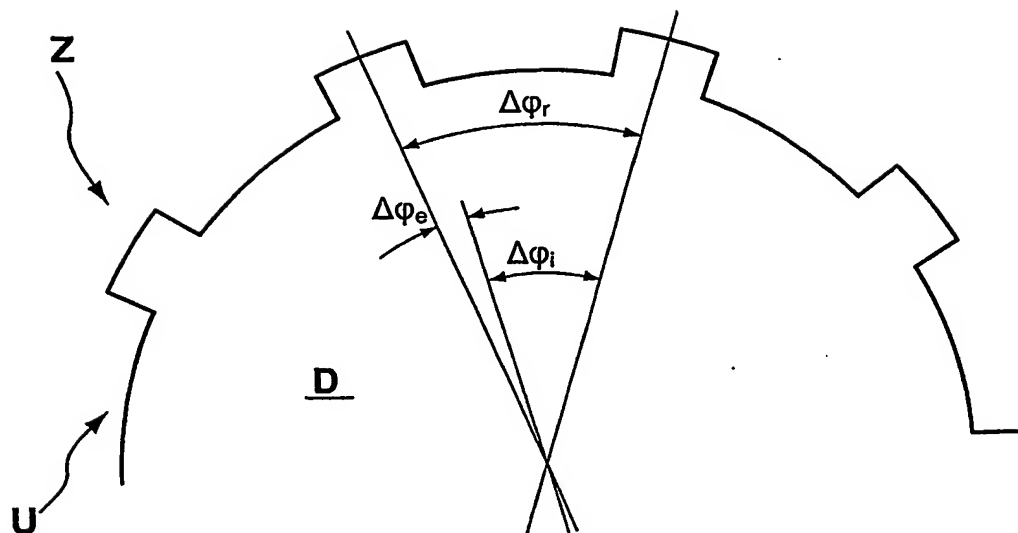
4. Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch **gekennzeichnet**, daß aus wenigstens zwei berechneten mittleren Winkelgeschwindigkeiten $\bar{\omega}_{n-1}$ und $\bar{\omega}_{n+1}$ die Inkrement (z) bezogene Winkelgeschwindigkeit $\omega_n(z)$ berechnet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4,
dadurch **gekennzeichnet**, daß der Verlauf der Inkrement (z) bezogenen Winkelgeschwindigkeit $\omega_n(z)$ durch ein Polynom zumindest angenähert wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch **gekennzeichnet**, dass die Inkrement (z) bezogene Winkelgeschwindigkeit $\omega_n(z)$ als Funktionswert der durch das Polynom beschriebenen Funktion entnommen wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch **gekennzeichnet**, dass die Mittelung eine Scharmittelung ist, die über die auf das Inkrement (z) bezogenen Winkelgeschwindigkeiten $\omega_n(z)$ pro Inkrement (z) und Wellenumdrehung (n) unter Zugrundelegung folgender Beziehung durchgeführt wird, durch die als Geometriefehler ein inkrementeller Winkelfehler pro Umdrehung angegeben wird:

$$\Delta\varphi_{e_n}(z) = \frac{1}{k-l} \sum_{n=l}^k \left[\frac{\omega_n(z)}{f(z)} - \Delta\varphi_i(z) \right]$$

mit	$\Delta\varphi_{e_n}(z)$	inkrementeller Winkelfehler pro Umdrehung
	$\omega_n(z)$	inkrementelle Winkelgeschwindigkeit pro Umdrehung
	$f(z)$	Inkrementfrequenz
	$\Delta\varphi_i(z)$	Winkelinkrement für ideales Inkrement
	k, l	Umdrehungsindizes bei unterer und oberer Drehzahlgrenze

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch **gekennzeichnet**, dass die zeitlich veränderliche Wellendrehzahl im Rahmen eines Auslauf-, Schlepp- oder Drückungsversuches erhalten wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Drehzahlbereich, innerhalb dem sich die Einflüsse der Gas- und Massenmomente auf die Wellendrehzahl gegenseitig zumindest weitgehend statistisch aufheben, derart gewählt wird, dass zunächst jene Sprungdrehzahl aufgesucht wird, bei der ein Phasensprung im Wellendrehzahlsignal bedingt durch einen Wechsel an Dominanz zwischen Gas- und Massenmomenten auftritt, und dass der Drehzahlbereich derart um diese Sprungdrehzahl gewählt wird, dass ein im Drehzahlsignal enthaltener Wechselanteil nach dessen Mittelung möglichst klein wird.
10. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Drehzahlbereich innerhalb dem sich die Einflüsse der Gas- und Massenmomente auf die Kurbelwellenwinkelgeschwindigkeit gegenseitig zumindest weitgehend statistisch aufheben derart gewählt wird, dass der inkrementelle Winkelfehler $\Delta\varphi_n(z)$ als Funktion der Drehzahl ermittelt wird, und dass jener Drehzahlbereich ausgewählt wird, in dem der Winkelfehler am kleinsten ist.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch **gekennzeichnet**, dass im Falle eines ungeradzahlig-zylindrigen Verbrennungsmotors ein beliebiger Drehzahlbereich zur Winkelgeschwindigkeitsmessung bei der Bestimmung des Geometriefehlers verwendet wird.
12. Verfahren zur Kompensation von Geometriefehlern eines Drehgeberrades mit einer Vielzahl von sensoriell erfassbaren Inkrementen für einen Verbrennungsmotor, das an einer unmittelbar oder mittelbar durch Gas- und Massenmomenten des Verbrennungsmotors in Rotation versetzbaren Welle angebracht ist,

dadurch **gekennzeichnet**, dass eine Geometriefehlerbestimmung nach einem der Ansprüche 1 bis 11 durchgeführt wird, und dass der damit erhaltene inkrementelle Winkelgeometriefehler $\Delta\varphi_{e_n}(z)$ zur Korrektur bei der Drehzahlbestimmung des Verbrennungsmotors verwendet wird.

**Fig. 1**

2/2

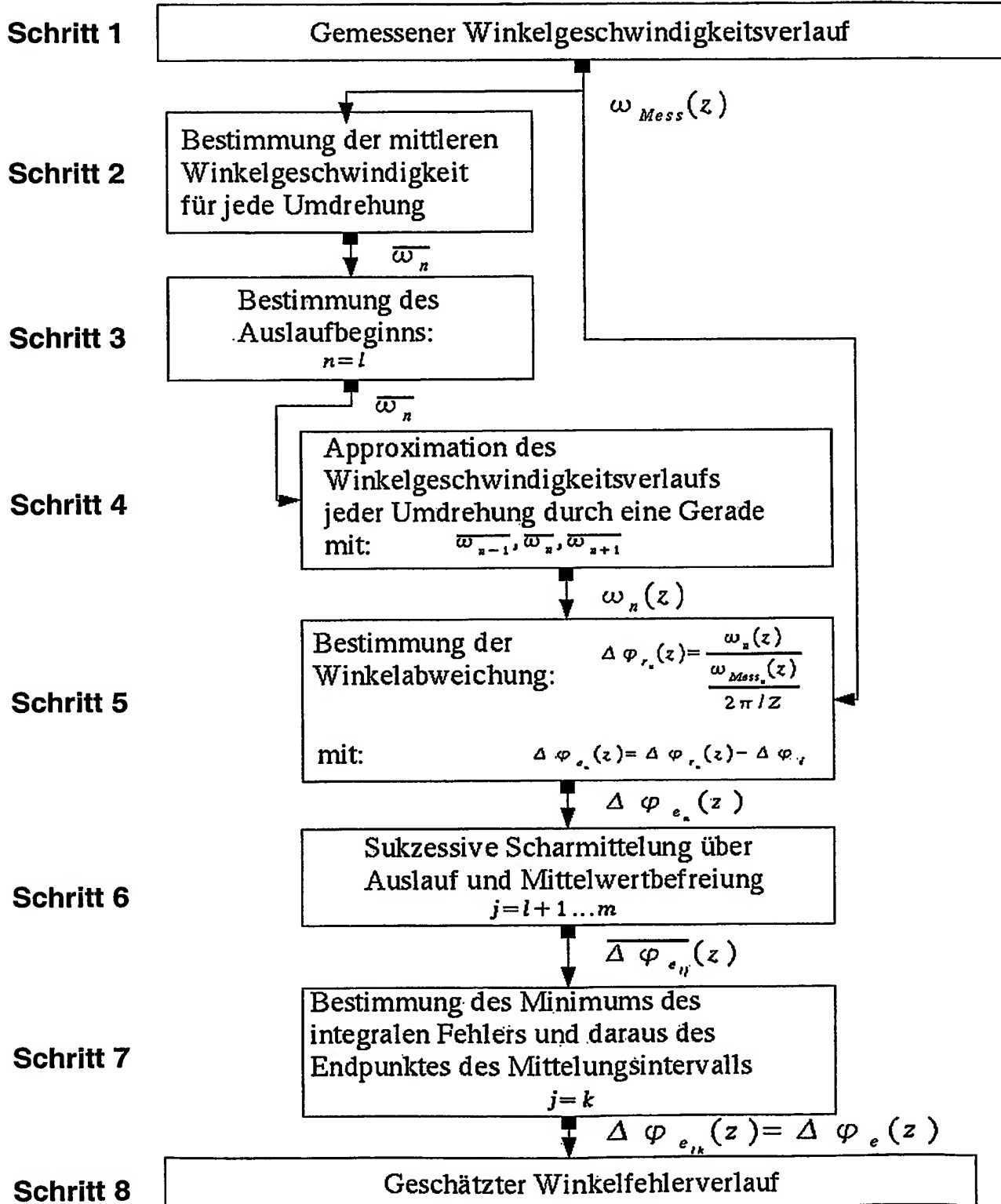


Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter Application No

PCT/EP 03/00367

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 F02D41/34

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F02D G01P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

PAJ, EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 864 775 A (BRADSHAW ET AL.) 26 January 1999 (1999-01-26)	1-3, 12
A	the whole document	9
A	US 5 117 681 A (DOSDALL ET AL.) 2 June 1992 (1992-06-02)	1, 8, 12
	abstract; figures	
P, A	US 6 363 318 B1 (WANG ETAL.) 26 March 2002 (2002-03-26)	1, 8, 12
	column 2, line 32 - line 49 column 4, line 42 - line 49; figures	
A	US 5 789 658 A (HENN ET AL.) 4 August 1998 (1998-08-04)	1, 8, 12
	column 7, line 24 - column 8, line 25; figures	
	--- -/--	



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

Z document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

7 May 2003

Date of mailing of the international search report

14/05/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Kooijman, F

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter

Application No

PC1/EF 02/00367

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 196 22 042 A (SIEMENS) 4 December 1997 (1997-12-04) column 4, line 27 - line 33; figures -----	1,8,12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter: Application No

PCT/EP 08/00367

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5864775	A	26-01-1999	DE 69522943 D1 31-10-2001
		DE 69522943 T2 11-04-2002	
		EP 0769134 A1 23-04-1997	
		ES 2163518 T3 01-02-2002	
		WO 9601980 A1 25-01-1996	
US 5117681	A	02-06-1992	NONE
US 6363318	B1	26-03-2002	NONE
US 5789658	A	04-08-1998	DE 19540674 A1 07-05-1997
		FR 2740509 A1 30-04-1997	
DE 19622042	A	04-12-1997	DE 19622042 A1 04-12-1997

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inter es Aktenzeichen

PCT/EP 02/00367

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 F02D41/34

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 F02D G01P

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

PAJ, EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 864 775 A (BRADSHAW ET AL.) 26. Januar 1999 (1999-01-26)	1-3, 12
A	das ganze Dokument	9
A	US 5 117 681 A (DOSDALL ET AL.) 2. Juni 1992 (1992-06-02) Zusammenfassung; Abbildungen	1, 8, 12
P, A	US 6 363 318 B1 (WANG ETAL.) 26. März 2002 (2002-03-26) Spalte 2, Zeile 32 - Zeile 49 Spalte 4, Zeile 42 - Zeile 49; Abbildungen	1, 8, 12
A	US 5 789 658 A (HENN ET AL.) 4. August 1998 (1998-08-04) Spalte 7, Zeile 24 - Spalte 8, Zeile 25; Abbildungen	1, 8, 12

	-/--	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

7. Mai 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

14/05/2003

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Kooijman, F

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 196 22 042 A (SIEMENS) 4. Dezember 1997 (1997-12-04) Spalte 4, Zeile 27 - Zeile 33; Abbildungen -----	1,8,12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern : Aktenzeichen

PCT/EP 02/00367

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Num der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5864775	A	26-01-1999	DE 69522943 D1 31-10-2001
		DE 69522943 T2 11-04-2002	
		EP 0769134 A1 23-04-1997	
		ES 2163518 T3 01-02-2002	
		WO 9601980 A1 25-01-1996	
US 5117681	A	02-06-1992	KEINE
US 6363318	B1	26-03-2002	KEINE
US 5789658	A	04-08-1998	DE 19540674 A1 07-05-1997
		FR 2740509 A1 30-04-1997	
DE 19622042	A	04-12-1997	DE 19622042 A1 04-12-1997